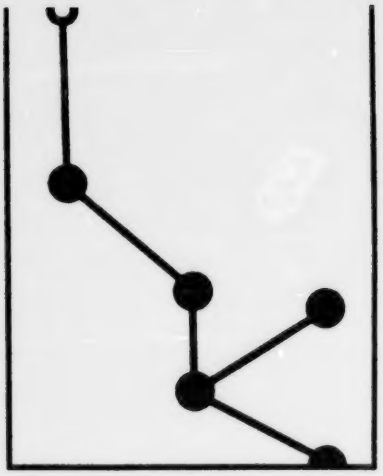

L'information électronique et son environnement technologique

Gouvernement du Québec
Ministère des Communications
Direction des technologies de l'information

Réalisation : Monsieur Yves Leclerc, journaliste

Coordination : Communications Marsy inc.
Service de l'information électronique
du ministère des Communications du Québec

Édition : Direction des communications du
ministère des Communications du Québec

Dépôt légal : — 2e trimestre 1987
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
ISBN 2-550-17495-X

© Gouvernement du Québec

TABLE DES MATIÈRES

		Page
AVANT-PROPOS		VII
CHAPITRE PREMIER :	PROBLÉMATIQUE	1
CHAPITRE II :	MICRO-INFORMATIQUE	3
	2.1 Définition du domaine	3
	2.2 Bref historique	3
	2.3 Technologies impliquées	4
	2.3.1 Circuits à haute densité	4
	2.3.2 PAL et circuits spécialisés	4
	2.3.3 Cartes à mémoire	5
	2.3.4 Techniques d'entrée-sortie	5
	2.3.5 Méthodes de fabrication	5
	2.4 Principaux paramètres	6
	2.4.1 Taille et vitesse du processeur	6
	2.4.2 Mémoire interne	6
	2.4.3 Durabilité et fiabilité	7
	2.4.4 Normes et compatibilité	7
	2.4.5 Interface usager	8
	2.5 Principales applications	8
	2.5.1 Ordinateurs individuels	8
	2.5.2 Équipement de bureautique	9
	2.5.3 Édition — publication électronique	9
	2.5.4 Terminaux intelligents	9
	2.5.5 Robotique et automatisation	10
	2.5.6 Dessin — graphisme électronique	10
	2.6 Dimension économique	10
CHAPITRE III :	TECHNIQUES DE STOCKAGE	11
	3.1 Définition du domaine	11
	3.2 Bref historique	11
	3.3 Technologies impliquées	12
	3.3.1 Laser et holographie	12
	3.3.2 Enregistrement perpendiculaire	12
	3.3.3 Techniques hybrides	13
	3.3.4 Numérisation	13
	3.3.5 Structures de données	13
	3.4 Principaux paramètres	14
	3.4.1 Densité d'encodage	14
	3.4.2 Vitesse d'accès	14
	3.4.3 Permanence des données	14

		Page
	3.4.4 Effacement / réenregistrement	14
	3.4.5 Interface à l'ordinateur	15
	3.4.6 Normes et protocoles	15
	3.5 Principaux formats	15
	3.5.1 Systèmes magnétiques	15
	3.5.1.1 Disquettes à haute densité	15
	3.5.1.2 Disques rigides	16
	3.5.1.3 Système Bernoulli	16
	3.5.2 Systèmes optiques	16
	3.5.2.1 Vidéodisques	16
	3.5.2.2 CD-ROM et CD-I	16
	3.5.2.3 WORM	16
	3.5.2.4 Cartes au laser	16
	3.5.3 Systèmes hybrides	17
	3.5.3.1 Disques optiques effaçables	17
	3.5.3.2 Mémoires virtuelles	17
	3.6 Principales applications	17
	3.6.1 Gestion de banques de données	17
	3.6.2 Fichiers vidéo, sono, hybrides	17
	3.6.3 Pédagogie interactive	18
	3.6.4 Diffusion d'information	18
	3.6.5 Simulations, modèles complexes	18
	3.7 Dimension économique	18
CHAPITRE IV :	TRANSMISSION DE DONNÉES	19
	4.1 Définition du domaine	19
	4.2 Bref historique	19
	4.3 Technologies impliquées	19
	4.3.1 Modems	19
	4.3.2 Laser et fibre optique	20
	4.3.3 Structures des réseaux	20
	4.3.4 Protocoles et formats	20
	4.3.5 Numérisation, codage	21
	4.4 Principaux paramètres	21
	4.4.1 Vitesse de transmission, bande passante	21
	4.4.2 Portée maximale	21
	4.4.3 Sécurité, encryption	21
	4.4.4 Fiabilité — correction d'erreurs	21
	4.4.5 Normes et protocoles	22
	4.5 Principaux formats	22
	4.5.1 Réseaux locaux	22
	4.5.2 Transmission par paquets	22
	4.5.3 Vidéotex et télétexte	22
	4.5.4 Réseau commuté	22
	4.5.5 Passerelles, interconnexions	23
	4.6 Principales applications	23
	4.6.1 Télétraitement	23
	4.6.2 Courrier électronique	23

		Page
	4.6.3 Télémétrage	23
	4.6.4 Banques de données publiques	24
	4.6.5 Espaces de travail communs	24
	4.7 Dimension économique	24
CHAPITRE V :	LOGICIEL	25
	5.1 Définition du domaine	25
	5.2 Bref historique	25
	5.3 Technologies impliquées	26
	5.3.1 Techniques de conception	26
	5.3.2 Méthodes de production et validation	26
	5.3.3 Langages, générateurs de programmes	26
	5.3.4 Méthodes de diffusion	26
	5.4 Principaux paramètres	27
	5.4.1 Fiabilité, absence d'erreurs	27
	5.4.2 Compatibilité avec le matériel	27
	5.4.3 Portabilité	27
	5.4.4 Facilité d'apprentissage et d'utilisation	28
	5.4.5 Aspect linguistique — culturel	28
	5.5 Les grandes familles	28
	5.5.1 Logiciel de système	28
	5.5.1.1 Systèmes d'exploitation	28
	5.5.1.2 Interface utilisateur	28
	5.5.1.3 Systèmes de programmation	28
	5.5.1.4 Programmes de communications	29
	5.5.2 Logiciel d'application	29
	5.5.2.1 Progiciels-outils ou «logiciels horizontaux»	29
	5.5.2.2 Logiciels verticaux	29
	5.5.2.3 Interrogation de données	29
	5.5.2.4 Courrier — conférences informatiques	29
	5.5.2.5 Intelligence artificielle	30
	5.6 Dimension économique	30
CHAPITRE VI :	LES INTERACTIONS	31
	6.1 Super-bases de données	31
	6.2 Réseaux hiérarchisés et «workstations»	31
	6.3 Vidéotex et courrier électronique	31
	6.4 Espace télématique commun	32
CHAPITRE VII :	TROIS TENDANCES D'AVENIR	33
	7.1 Fusion des technologies	33
	7.2 Adaptabilité / programmabilité	33
	7.3 Traitement parallèle	33
BIBLIOGRAPHIE		35

AVANT-PROPOS

Cette étude a été réalisée pour Communication Marsy, dans le cadre de l'Entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement des entreprises de communication (EDER).

Présentée pour la première fois à l'occasion du Carrefour international de l'information électronique (CIIEL), cette étude s'inscrit dans le cadre d'une série de sept documents traitant, à plusieurs niveaux, de l'industrie de l'information électronique. Ce sont :

— *Introduction à l'industrie de l'information électronique;*
— *Portrait de l'industrie de l'information électronique en Amérique du Nord;*
— *L'information électronique et son environnement technologique;*
— *L'information électronique au Québec: guide pratique des services d'information en ligne;*
— *L'information électronique au Québec: profil économique de l'offre;*
— *L'information électronique au Québec: profil économique de la demande;*
— *L'information électronique au Québec: évolution et perspectives.*

CHAPITRE PREMIER : PROBLÉMATIQUE

Ce document présente un tour d'horizon rapide des quatre volets principaux des technologies de traitement électronique de l'information :

— *micro-informatique*
— *méthodes de stockage*
— *méthodes de transmission*
— *logiciel*

À ce titre, il est forcément centré sur les appareils et les techniques, sur le contenant plutôt que sur le contenu. Ce parti-pris inévitable ne doit pas faire oublier que derrière la préoccupation pour les machines et les gadgets, ce qui importe c'est l'information[1] elle-même, le contenu qui doit être véhiculé. Les technologies ne sont, ne peuvent être que des outils pour favoriser la diffusion et l'utilisation des données et des connaissances.

Malgré l'aspect spectaculaire des progrès réalisés dans ce domaine en particulier au cours des dernières années, il est essentiel de conserver une certaine attitude critique. Il faut admettre dès le départ qu'il n'est pas bon de tout informatiser et traiter électroniquement, et que dans certains cas les techniques traditionnelles, appuyées souvent il est vrai par l'électronique, sont encore la manière la plus efficace de servir l'information. Un exemple frappant de cette réalité est le succès remarquable, depuis deux ans, de l'édition électronique légère, le «desktop publishing», au moment même où l'on prédisait le «tout à l'écran» et la mort imminente de la publication sur papier : l'informatique sert ici à renforcer, plutôt qu'à éliminer, une méthode de diffusion traditionnelle de l'information.

Un autre aspect de cette nécessaire attitude critique face aux technologies est la préoccupation au sujet des effets sociaux, politiques et culturels du phénomène. En changeant les méthodes de traitement et de diffusion de l'information et de la connaissance, on touche inévitablement l'âme même d'une société, d'une culture. Quel que soit l'attrait technologique ou économique d'une innovation, il faut en soupeser soigneusement les effets secondaires avant de prendre la décision de l'implanter; il faut surtout ne pas oublier de tenir compte de ces effets dans le choix des méthodes et des délais d'implantation.

Ceci dit, il est important d'avoir une vue d'ensemble des technologies de traitement électronique de l'information. Au cours de la dernière décennie, l'évolution dans ce secteur a été si rapide que des connaissances acquises il y a un ou deux ans à peine risquent d'être dépassées. Au début, cette évolution répondait surtout à un dynamisme des technologies elles-mêmes; à mesure qu'on progresse, on constate de plus en plus un phénomène d'interaction, de «feedback» entre la technologie et les habitudes des utilisateurs : on leur offre des outils, ils trouvent de nouvelles façons de s'en servir, et cela même oriente le développement technologique dans d'autres directions.

---

1. L'ensemble de la problématique liée à l'information électronique est abordé plus en détails dans l'étude «Introduction à l'industrie de l'information électronique».

En particulier, la réduction des coûts et l'augmentation de la capacité de fabrication massive de systèmes et de périphériques peuvent avoir un effet qualitatif, et non seulement quantitatif : dans un grand nombre de secteurs, des techniques qui auraient été impensables il y a deux ou trois ans deviennent parfaitement envisageables, sinon courantes. Un exemple assez étonnant est la propagation du traitement informatisé de la musique chez les compositeurs, aussi bien populaires que «sérieux»; le synthétiseur ou le clavier électronique relié à un ordinateur est en voie de remplacer la guitare et le piano comme instrument principal de création musicale. Il s'agit là d'un résultat qui est certainement qualitatif, pour le meilleur ou pour le pire.

Passons maintenant au vif de notre sujet : dans ce qui suit, le même plan général a été suivi pour chacun des quatre volets :

— description et bref historique du domaine couvert;
— évocation des technologies impliquées;
— principaux paramètres d'évaluation;
— énumération des formes et des applications pratiques;
— coup d'oeil sur la dimension économique.

En guise de conclusion, on trouvera une brève discussion des importantes interactions entre les quatre volets, et quelques perspectives d'avenir.

CHAPITRE II : MICRO-INFORMATIQUE

2.1 Définition du domaine

La micro-informatique est l'application des techniques de la microélectronique au traitement informatisé des données. Elle se fonde essentiellement sur l'emploi de microprocesseurs comme unités centrales de petits systèmes informatiques, appuyés par des circuits spécialisés et des mémoires .

La micro-informatique se manifeste dans la vie courante sous deux formes principales : des circuits spécialisés, «dédiés», intégrés dans d'autres appareils ainsi rendus «intelligents» (guichets automatiques de banque, ascenseurs, fixations de skis, combinés téléphoniques, etc.); ou des micro-ordinateurs d'usage général susceptibles d'être programmés pour répondre aux besoins de leurs utilisateurs. Dans beaucoup de cas, ces micro-ordinateurs servent à des tâches de bureau et sont associés à des réseaux de bureautique.

La micro-informatique a des interrelations étroites avec les trois autres volets des technologies de traitement électronique de l'information: elle constitue un instrument puissant de gestion et d'utilisation des mémoires de masse créées par les techniques de stockage magnétique ou optique; elle forme la grande majorité des terminaux «intelligents» et des postes de travail branchés sur les réseaux de transmission de données; elle est à la fois l'instrument et le destinataire d'une part croissante des travaux de création de logiciel.

2.2 Bref historique

C'est au milieu des années 70 que, presque par accident, la micro-informatique a fait son apparition : des mordus de l'électronique (la plupart informaticiens traditionnels ou radioamateurs) ont découvert qu'ils pouvaient construire un petit ordinateur à partir des nouveaux microprocesseurs créés pour servir de base à des systèmes «dédiés» et à des terminaux intelligents.

D'abord sous l'impulsion de ces fanatiques, puis d'une classe d'amateurs de plus en plus large, ce nouveau secteur s'est rapidement développé, et dès la fin des années 70 des micro-ordinateurs relativement puissants étaient sur le marché, accompagnés d'accessoires et de périphériques de plus en plus variés, de plus en plus performants.

C'est alors que s'est produit le passage de l'informatique domestique à la micro professionnelle, surtout avec l'entrée en jeu d'IBM et le foisonnement des «compatibles». La multiplication du logiciel de qualité professionnelle à l'intention des non-informaticiens (traitement de texte, chiffriers électroniques, bases de données) et l'interconnexion des micros entre eux et avec d'autres équipements de bureau, ont donné lieu à l'essor de la bureautique.

Aujourd'hui, la micro-informatique est un des secteurs les plus importants, probablement le plus dynamique, de tout le domaine du traitement électronique de l'information. Les frontières entre micro-ordinateurs, minis et même «grands

systèmes» tendent à s'estomper à mesure que les micros deviennent plus puissants et plus souples, et leurs programmes plus variés et plus efficaces.

2.3 Technologies impliquées

2.3.1 Circuits à haute densité

Au point de départ de la micro-informatique, il y a la miniaturisation des circuits électroniques intégrés, qui permet de graver sur une puce de silicium d'au plus un centimètre de côté, d'abord des milliers, puis aujourd'hui des millions de composants qui constituent des systèmes informatiques presque complets, extrêmement économiques aussi bien quant au coût de production qu'aux matières premières, à l'espace occupé et à l'énergie requise pour les faire fonctionner.

À l'origine, cette miniaturisation a été le résultat des recherches effectuées pour la course à l'espace et les applications militaires. Aujourd'hui, ce sont surtout les utilisations civiles et la micro-informatique elle-même qui lui impriment sa dynamique. De fait, les forces armées ont maintenant tendance à se servir de produits «civils», parfaitement fiables et robustes, et beaucoup moins coûteux dans presque tous les cas que ceux qui ont été mis au point dans le cadre des programmes de recherche aux fins militaires.

Depuis au moins quinze ans, la capacité des micro-circuits double environ chaque année, et cela devrait se poursuivre au moins jusqu'à la fin de la décennie. On prévoit cependant que d'ici quatre ou cinq ans, une limite théorique sera atteinte, et que la tendance à la miniaturisation plafonnera... à moins que de nouvelles techniques (par exemple des processeurs optiques, utilisant le photon plutôt que l'électron comme véhicule de l'information) ne soient mises au point d'ici lors.

2.3.2 PAL et circuits spécialisés

Pour accroître l'efficacité des microprocesseurs, on leur adjoint des circuits spécialisés conçus pour effectuer de façon optimale des tâches bien définies : création de graphisme sur écran, gestion de périphériques, réalisation d'opérations mathématiques en valeurs réelles, génération de son.

À ces circuits spécialisés s'ajoutent deux catégories de puces d'usage plus général, susceptibles d'être conçues pour répondre aux besoins spécifiques de tel ou tel système : les PAL (Programmable Array Logic ou «circuits précaractérisés»), qui «brûlent» sur une seule puce des éléments qu'il fallait autrefois soit réaliser physiquement au moyen de composantes, soit programmer en logiciel, et les DSP (Digital Signal Processors) capables de traiter des signaux analogiques par des méthodes numériques avancées.

L'emploi de l'une ou l'autre de ces catégories de circuits est de plus en plus répandu en micro-informatique; il permet de résoudre par l'insertion de produits matériels peu coûteux des problèmes qu'on avait jusqu'ici traités par logiciel, le plus souvent à grands frais et au prix d'une dégradation de l'efficacité de l'ensemble.

2.3.3 Cartes à mémoire

Au confluent de la micro-informatique et des techniques de stockage se trouve une technologie d'origine française qui promet de révolutionner certaines de nos façons d'utiliser et même de concevoir l'information, dans le secteur des échanges économiques et de la monnaie en particulier : celle des cartes «intelligentes» ou cartes à mémoire.

Elle permet de placer sur une carte plastifiée genre «carte de crédit» un microprocesseur et son programme, en plus de mémoires capables de contenir des données. De cette façon, la carte porte non seulement l'information, mais encore l'essentiel de ce qu'il faut pour la traiter . Il suffit de la brancher sur un terminal comportant un clavier et un affichage pour avoir un microsystème complet.

2.3.4 Techniques d'entrée-sortie

Un des obstacles principaux à la propagation rapide de l'usage de la micro-informatique a été, pendant plusieurs années, le caractère primitif et peu «convivial» des méthodes offertes aux usagers pour communiquer avec la machine. Des techniques plus simples et plus efficaces d'entrée-sortie des données et de commande existaient, mais elles étaient peu répandues, et on s'était peu préoccupé de les mettre à profit.

Récemment, une évolution rapide s'est faite en ce domaine : amélioration des claviers, utilisation des couleurs et du graphisme dans les affichages, multiplication de périphériques d'entrée mieux appropriés à diverses circonstances : «souris», écran tactile, tablette numérisante, photostyle. La gestion des affichages, sous l'influence notamment des terminaux «Star» de Xerox et des «Macintosh» d'Apple, a connu une véritable révolution : icônes, menus déroulants, «fenêtres» multiples, etc.

Deux prochaines étapes prévisibles dans cette évolution sont la communication en langage naturel (écrit) puis le contrôle par la voix; elles posent cependant des problèmes importants qui sont encore loin d'être résolus. De toute façon, il est vraisemblable que leur venue ne fera pas disparaître l'utilité des autres méthodes, pas plus que celles-ci n'ont éliminé le clavier.

2.3.5 Méthodes de fabrication

Même si ce n'est pas l'essentiel de notre propos, il faut mentionner ici l'évolution des techniques de fabrication de la micro-électronique : informatisation et automatisation de plus en plus grande des processus (assemblage, contrôle de qualité); nouvelles méthodes de montage en surface, etc. Il en résulte que les nouveaux investissements dans ce domaine tendent à faire disparaître la main-d'oeuvre humaine, plutôt qu'à créer des emplois industriels. Et cela risque de s'étendre à d'autres industries où les techniques de fabrication peuvent être optimisées par des procédés comparables.

2.4 Principaux paramètres

2.4.1 Taille et vitesse du processeur

La première génération des micro-ordinateurs était basée sur des microprocesseurs capables de traiter à la fois 8 bits (un octet) de données, et fonctionnant à une vitesse de 1 à 4 Mhz (millions de cycles par seconde, une instruction moyenne demandant de 3 à 6 cycles).

Par la suite sont venus des processeurs hybrides, 8-16 bits ou 16-8, dont la puissance était environ le double des premiers : 8088 d'Intel, 6809 de Motorola. La génération actuelle est bâtie autour de processeurs 16-bits ou même 16-32 bits fonctionnant à des vitesses de 6 à 16 Mhz, et ayant une capacité de traitement égale à au moins 8 fois et jusqu'à 20 fois celle de la première génération. Une toute nouvelle vague, représentée par les modèles 386 de la «famille» IBM et le Macintosh II d'Apple, offre des processeurs 32-bits et une puissance double ou triple de celle des machines courantes.

De fait, cette dernière vague se rapproche dangereusement des «super-minis» de type VAX, et il est à prévoir que d'ici deux ou trois ans, le haut de gamme des micros aura atteint à toutes fins pratiques le niveau des systèmes informatiques classiques, offrant une performance comparable à la leur mais à des coûts nettement inférieurs.

2.4.2 Mémoire interne

Une des limites les plus contraignantes des premiers micros était leur mémoire restreinte : ils ne pouvaient utiliser que 64 Ko ou kilo-octets (65 536 cellules d'un octet, chacune représentant à peu près un caractère d'imprimerie). Graduellement la taille potentielle de la mémoire s'est élargie à un Mo ou méga-octet (un million de caractères), puis 16 Mo et aujourd'hui jusqu'à 4 Go ou giga-octets (milliards d'octets).

Parallèlement, le coût des circuits de mémoire chutait : pour 300 $ on avait 4 Ko il y a dix ans, 16 Ko il y a huit ans, 64 Ko il y a quatre ans, et on a aujourd'hui un Mo ou même plus. Si bien que de plus en plus de machines sont offertes sur le marché avec un Mo ou plus de mémoire interne, et les systèmes équipés de 4, 6 ou même 16 Mo ne sont plus rares. Là aussi les micros tendent à atteindre rapidement le niveau des minis et même des grands systèmes. De plus, n'étant habituellement consacrés qu'à un seul usager, leur mémoire n'a pas à être partagée en plusieurs sections et peut être attribuée tout entière à une ou à quelques tâches.

Les vastes zones d'adressage des micros modernes leur permettent enfin d'utiliser la technique, empruntée aux grands systèmes, de la mémoire «virtuelle», où les périphériques de mémoire externe sont considérés comme de simples extensions plus lentes de la mémoire interne. C'est là une évolution importante si l'on considère les pas de géant réalisés récemment dans le domaine des techniques et des médias de stockage .

2.4.3 Durabilité et fiabilité

Les premiers micro-ordinateurs partageaient avec les systèmes traditionnels des caractéristiques de grande fragilité et de fiabilité limitée. Ils tombaient souvent en panne et étaient capricieux quant à leur «environnement de travail» (température, degré d'humidité, régularité du voltage de l'alimentation...).

Aujourd'hui, les micro-ordinateurs sont parmi les plus robustes des appareils domestiques ou de bureau sur le marché. Ils fonctionnent dans des conditions très difficiles (climats tropicaux, usines poussiéreuses), en particulier les modèles «portatifs» capables de subir des chocs violents et d'être utilisés même en pleine nature.

Pour ce qui est de leur durabilité, il est encore tôt pour porter un jugement (la plupart des modèles sont sur le marché depuis moins de cinq ans); il n'en demeure pas moins que la grande majorité des appareils en service fonctionnent depuis deux ans ou plus sans pannes majeures, et que le marché des «usagés» est florissant, ce qui est habituellement bon signe. Néanmoins, leur construction modulaire les rend faciles à entretenir et à réparer le cas échéant.

2.4.4 Normes et compatibilité

Au départ, chaque fabricant de micro-ordinateurs avait sa propre norme qu'il tentait d'imposer sur le marché, avec l'intention bien compréhensible de limiter ses clients à sa gamme de produits. Mais assez vite le besoin d'une norme plus générale s'est fait sentir, et deux de ces normes sont apparues très tôt dans l'histoire de la micro-informatique: la norme de facto de l'Apple II, et la norme négociée du bus S-100 et du système d'exploitation CP/M.

C'est surtout avec l'arrivée du PC d'IBM qu'une véritable norme universelle s'est établie, respectée par des centaines de fabricants d'appareils et de périphériques, et par des milliers de producteurs de logiciel. Pendant cinq ans, cette norme IBM a régné sans véritable opposition sur la micro-informatique d'affaires et professionnelle.

Depuis peu, elle est cependant attaquée de l'intérieur aussi bien que de l'extérieur : d'une part, un nombre croissant d'utilisateurs en sont insatisfaits et considèrent qu'elle constitue un frein à la croissance naturelle de la puissance et de la souplesse des micros (difficulté d'implanter des systèmes multi-tâches et multi-usagers); d'autre part, le succès tardif mais réel du Macintosh d'Apple propose une nouvelle norme de facto qui notamment s'impose dans le domaine du «desktop publishing». Enfin, des systèmes non conventionnels comme l'Amiga de Commodore, qui ne respectent aucune de ces normes, sont en voie de se créer une niche dans certains créneaux spécialisés (animation, graphisme couleurs).

L'ensemble du problème des normes, qu'on pensait avoir réglé, est donc remis sur le tapis depuis environ un an, et il est difficile à l'heure actuelle de prévoir ce qu'il en adviendra, sauf pour dire que des changements plus ou moins profonds sont probables.

2.4.5 Interface usager

Encore récemment, la façon dont l'usager communiquait avec les micro-ordinateurs était calquée sur celle des grands systèmes traditionnels, dont les utilisateurs étaient des informaticiens professionnels, des techniciens et des scientifiques. Avec l'entrée de l'ordinateur personnel dans la maison, l'école et le bureau, on s'est rendu compte que cette «interface usager» primitive et trop technique laissait fortement à désirer.

Depuis trois ans surtout, des systèmes de communication personne-machine issus des résultats de recherches réalisées à Palo Alto (Californie) par une équipe de Xerox, au cours des années 70, ont été proposés, avec un succès grandissant. Le premier a été celui du Macintosh d'Apple, qui a été suivi et plus ou moins imité par le GEM de Digital Research, le Windows de Microsoft, l'Intuition de Commodore.

Tous se fondent sur un affichage graphique beaucoup plus explicite et plus «intuitif» que l'affichage alphabétique traditionnel, et sur des mouvements d'un pointeur sur l'écran plutôt que des «commandes» tapées au clavier. Cette tendance marque un net progrès dans la définition des méthodes d'utilisation des systèmes informatiques, et elle n'en est encore qu'à ses débuts; on peut s'attendre à une évolution rapide en ce domaine au cours des prochaines années, d'autant plus que la «convivialité» des systèmes constitue un critère d'achat de plus en plus important : il permet de réduire considérablement les coûts de formation et la durée de la période d'adaptation des utilisateurs.

2.5 Principales applications

2.5.1 Ordinateurs individuels

Ce sont des appareils à tout faire ou presque, dont la fonction dépend des programmes qu'on y introduit. Ils se composent la plupart du temps d'un boîtier principal contenant l'ordinateur proprement dit et les unités de disques ou de disquettes, d'un clavier amovible, d'un écran-moniteur monochrome ou couleurs et souvent d'une imprimante.

On les trouve de plus en plus fréquemment dans un grand nombre de milieux de travail: bureau, atelier, boutique, laboratoire, usine; dans les établissements d'enseignement, où ils servent aussi bien à des fins pédagogiques qu'administratives; dans les résidences privées, où ils sont à la fois un outil de travail à domicile et un jouet sophistiqué, en attendant de devenir un appareil important de communication.

2.5.2 Équipement de bureautique

Cet équipement peut comprendre soit des ordinateurs individuels classiques affectés à du travail de bureau, soit des «postes de travail» intelligents, ou encore des systèmes «dédiés», dont la configuration et la programmation ont été optimisées en fonction d'une tâche spécifique : traitement de texte, conception assistée, édition électronique. De plus en plus, ils sont reliés en «réseau local», ce qui permet à leurs utilisateurs d'échanger directement des informations, de partager des ressources communes (imprimante, disque rigide, lien de communication avec l'extérieur) ou même de travailler à plusieurs sur une même tâche.

On trouve également des microprocesseurs cachés dans un grand nombre d'appareils de bureau qu'ils rendent «intelligents» : photocopieurs et télécopieurs, imprimantes au laser, centraux téléphoniques d'entreprise, voire combinés téléphoniques individuels.

2.5.3 Édition-publication électronique

Ce secteur de la bureautique a pris une expansion telle qu'on tend maintenant à le considérer comme un domaine indépendant. Ces systèmes se composent habituellement d'un ou plusieurs postes de travail ou micro-ordinateurs équipés d'un logiciel spécial de mise en page, et reliés en réseau autour d'une imprimante au laser ou, pour les ensembles plus importants, d'une photocomposeuse.

Ces équipements permettent de télescoper les étapes du processus classique d'édition sur papier, une même personne ou une équipe restreinte effectuant directement sur écran les tâches de correction, d'édition des textes, de mise en page, de conception graphique et typographique qui étaient jadis accomplies manuellement par des spécialistes. On arrive ainsi à réaliser en des délais beaucoup plus brefs, et à un coût considérablement réduit, des publications d'une qualité comparable à celle de l'édition classique.

2.5.4 Terminaux intelligents

La quantité de données transmises électroniquement à travers le monde double en dedans de trois ans. Partout des terminaux sont branchés sur des réseaux spécialisés de dimension locale, nationale ou internationale, ou sur des lignes téléphoniques ordinaires, créant, gérant et recevant ce flux constant d'information.

Il y a quelques années, ces terminaux étaient presque tous «idiots» et ne permettaient que la réception et l'envoi en direct. Ils sont de plus en plus remplacés par des appareils «intelligents» à base de microprocesseurs, capables d'effectuer en mode local un grand nombre de manipulations sur les données, filtrage, prétraitement des interrogations de banques de données, édition des messages, stockage local des informations, transmission et réception automatique en différé, inscription et vérification des codes et mots de passe, composition automatique des numéros et adresses, validation des contenus et correction des erreurs...

2.5.5 Robotique et automatisation

La micro-informatique est en grande partie à l'origine des progrès récents et spectaculaires de la robotique et de l'automatisation des systèmes de conception et de production industrielle à laquelle on assiste aujourd'hui. C'est là un domaine qui pour l'instant est en dehors de notre propos, mais qui s'en rapproche, à mesure qu'on envisage l'interconnexion de la robotique avec la conception assistée et la bureautique.

2.5.6 Dessin-graphisme électronique

Né surtout des efforts dans le domaine de la conception assistée par ordinateur et de quelques travaux universitaires de brillants précurseurs, ce secteur croît rapidement à mesure que l'«interface usager» des ordinateurs prend un caractère graphique de plus en plus évident. La plupart des modèles plus récents de micro-ordinateurs offrent des capacités accrues en terme de résolution d'écran, de reproduction de couleurs et de fonctions graphiques intégrées au matériel, se rapprochant nettement des «postes de travail» spécialisés au point de se confondre avec eux (exemples : Commodore Amiga, IBM-RT et Macintosh II d'Apple).

À cette fonction correspondent des périphériques de plus en plus variés, évolués et «intelligents» : tablettes numérisantes, traceurs de courbes, reproducteurs et projecteurs d'écrans, etc. De plus, toute une nouvelle génération de logiciels nés directement de la micro-informatique (programmes de type «Paint» et «Draw») sont en train de révolutionner aussi bien les habitudes des graphistes «sur papier» que l'utilisation de l'image par l'informatique traditionnelle.

2.6 Dimension économique

La caractéristique économique la plus remarquable de la micro-informatique, c'est la baisse constante des coûts des composants et des systèmes complets. Ceci se manifeste de deux façons : on paie moins cher pour un équipement comparable, et on paie le même prix pour un appareil beaucoup plus puissant. Par exemple, on peut se procurer un compatible-IBM avec disque rigide et 640 Ko de mémoire pour environ 2500 $, ce qui était le prix d'un Apple II avec 48 Ko et un seul lecteur de disquettes en 1979!

Plusieurs fois déjà, on a prédit la fin de cette courbe vertigineuse de la baisse des prix, mais la prévision ne s'est jamais réalisée, et chaque fois la «barrière infranchissable» qu'on donnait comme critère a été défoncée, aussi bien quant aux systèmes eux-mêmes qu'aux périphériques : modems, imprimantes, unités de disque.

CHAPITRE III : TECHNIQUES DE STOCKAGE

3.1 Définition du domaine

Ce secteur comprend toutes les méthodes permettant de stocker de façon durable ou permanente des données directement utilisables par les systèmes de traitement de l'information. Jusqu'à maintenant ces méthodes ont été surtout magnétiques (si on oublie des techniques physiques primitives et généralement abandonnées comme les cartes et les rubans perforés), mais ceci est appelé à changer.

Depuis quelques années, des méthodes optiques de stockage et de lecture de données basées sur le laser ont connu une évolution extrêmement rapide et constante; elles offrent sur les méthodes magnétiques des avantages nombreux : plus grande densité d'enregistrement, durabilité, simplicité et robustesse des mécanismes, coût par donnée réduit.

Parallèlement, on assiste à la disparition des médias séquentiels (bandes et cassettes) au profit des médias à accès direct (disques), sauf pour les copies de sauvegarde; la taille moyenne des disques eux-mêmes diminue rapidement, à mesure que la densité d'enregistrement augmente. Chaque fois qu'on croit approcher d'une limite théorique, de nouvelles techniques apparaissent qui ont pour effet de repousser encore la frontière.

À côté de l'évolution des médias physiques, se produisent (mais pas nécessairement au même rythme) des progrès dans les méthodes d'encodage, d'organisation, d'utilisation des données stockées. L'apparition de disques à très grande capacité (un Go et plus) pose la question de la gestion des grandes masses d'information. Un autre problème est celui des interfaces, des canaux de communications, entre les unités de stockage et les micro-ordinateurs.

3.2 Bref historique

Les méthodes de stockage sont apparues très tôt dans l'histoire de l'informatique, d'autant que les premiers ordinateurs avaient des mémoires internes très restreintes. Tambours et bandes magnétiques ont été les premiers supports. Les disques magnétiques ont fait leur apparition au cours des années 60, suivis des disques fixes (technologie Winchester, depuis 1970) et des disquettes souples.

Ces deux dernières technologies ont connu une popularité prodigieuse en micro-informatique, à cause de leur coût raisonnable et de leur fiabilité. Dans les deux cas, la capacité de stockage s'est rapidement accrue : les premières disquettes de huit pouces contenaient environ 250 Ko de données, les micro-disquettes de trois pouces et demi en tiennent aujourd'hui plus de 800 Ko, et de nouvelles techniques d'encodage vont permettre de décupler cette capacité. Quant aux disques rigides, ils sont passés de treize pouces pour 16 Mo à cinq pouces pour 80 Mo en quelques années à peine.

Bandes magnétiques et cassettes sont maintenant réservées presque entièrement aux opérations de sauvegarde et d'archivage. Les cartes magnétiques et cartes à mémoire n'ont, du moins pour l'instant, qu'un rôle marginal. La technologie des mémoires à bulles, sur laquelle on comptait énormément il y a quelques années, demeure très chère et relativement peu employée.

C'est du côté des techniques optiques ou opto-magnétiques que les plus grands progrès sont en voie de se réaliser, que les plus grands espoirs sont placés. Il existe déjà plusieurs formules de CD-ROM (disques lisibles mais sur lesquels on ne peut écrire) et de WORM (écriture unique, lecture multiple), dans un format identique ou voisin de celui des disques compacts audio. Les premiers disques effaçables et réutilisables (technologie opto-magnétique) ont été réalisés en laboratoire, et devraient apparaître sur le marché avant la fin de la décennie.

3.3 Technologies impliquées

3.3.1 Laser et holographie

Le fer de lance actuel des technologies de stockage est le disque optique écrit et lu au rayon laser. Il a été mis au point d'abord comme support vidéo, pour l'enregistrement et la diffusion d'images-télévision, et n'y a connu qu'un succès mitigé; puis la même technique a été «empruntée» par l'audio, où elle a donné naissance au disque compact qui est une réussite spectaculaire.

Presque depuis le début, le monde de l'informatique a vu les possibilités qu'offre la technique de l'enregistrement au laser pour le stockage des données numériques. Bon nombre de sous-systèmes de ce type existent déjà, mais ils sont relativement coûteux et aucun standard ne s'est encore imposé. Il est donc probable que le gros de l'évolution du disque optique numérique soit encore à venir. Au disque optique il faut associer la «carte au laser», qui utilise la même technologie de manière différente pour stocker sur un support de petite taille des quantités plus faibles d'information.

Une technique de stockage apparentée, mais qui n'a fait l'objet que de peu de recherches jusqu'ici, est celle de l'hologramme. Elle est aussi basée sur le laser, mais fait appel à des méthodes non linéaires d'enregistrement et de lecture qu'on ne fait que commencer à exploiter. Les applications pratiques, s'il y en a, sont encore assez loin dans l'avenir.

3.3.2 Enregistrement perpendiculaire

Malgré le progrès remarquable du disque optique, les méthodes magnétiques d'enregistrement n'ont pas dit leur dernier mot. Notamment les techniques d'encodage vertical ou perpendiculaire promettent d'augmenter fortement la densité d'enregistrement aussi bien que la vitesse de lecture. Cette technologie inscrit les données dans la masse même du média, et non seulement à sa surface.

Dans les cas où les données doivent pouvoir être modifiées et réécrites fréquemment, le disque magnétique demeure souvent plus avantageux que le disque optique (qui est, du moins pour le moment, ineffaçable); une amélioration de sa densité d'encodage et de sa rapidité de fonctionnement augmentera encore sa compétitivité. Par exemple, on réalise déjà des disquettes souples contenant jusqu'à 10 Mo de données, et il semble que la limite est loin d'être atteinte. Des disques rigides de petite taille (3,5 et 5 pouces) de plus de 100 Mo sont aussi sur le point d'apparaître.

3.3.3 Techniques hybrides

Deux méthodes faisant appel à fois à l'optique et au magnétique, mais de façon fort différente, influencent actuellement l'évolution des périphériques de stockage : la première est basée sur l'utilisation d'un disque magnétique comme mémoire intermédiaire entre le disque au laser et l'ordinateur; la seconde vise à mettre au point un disque au laser effaçable et réenregistrable.

Dans le premier cas, on utilise la technique de la mémoire virtuelle pour faire travailler ensemble un disque magnétique rigide de capacité moyenne (10 à 40 Mo) et un disque optique de grande capacité (de 1/2 à 4 Go) : le premier sert à stocker les index et autres données modifiables nécessaires à la consultation du second, et même des tranches de données fréquemment consultées.

Dans le second cas, il s'agit d'utiliser le laser pour modifier non la surface physique (comme dans le disque optique classique), mais les propriétés magnétiques du support. Ainsi le changement effectué est réversible, et la même section de surface peut porter successivement plusieurs valeurs de données. C'est la direction que prennent actuellement la plupart des efforts en vue de réaliser un disque optique effaçable.

3.3.4 Numérisation

L'avènement des mémoires permanentes à très grande capacité rend possible la réalisation de nouveaux types de banques de données; en particulier, le stockage des images numérisées, fixes ou animées, est maintenant possible à des coûts raisonnables. Ceci exige la mise au point de meilleures méthodes de numérisation de divers types de données (graphiques, sons, voix humaine, etc.).

Un problème relié au précédent est celui de la détection et de la correction d'erreur, présent surtout dans la transmission de données, mais qui se pose maintenant pour les supports à très haute densité et à très grande capacité.

3.3.5 Structures de données

Pendant le premier âge de l'informatique, l'enregistrement et l'utilisation des données ont suivi un modèle essentiellement séquentiel, associé au traitement par lots. Le passage au mode interactif a favorisé un accès direct aux données; par la suite, de nouvelles structures plus efficaces (pointeurs, index, hiérarchies, arborescences, système relationnel) ont été mises au point.

Il est de plus en plus clair que la venue des mémoires externes à très grande capacité, couplées à des micro-ordinateurs de puissance restreinte, exigera de nouveaux progrès dans la connaissance et l'utilisation de structures de données et de méthodes de gestion et de consultation plus raffinées, plus efficaces et en même temps plus simples d'emploi pour satisfaire une nouvelle classe d'usagers moins experts techniquement.

Notons enfin que le caractère permanent des informations inscrites sur les disques optiques incite à optimiser l'organisation physique des données sur le support au moment de l'enregistrement, contrairement à ce qui se produit pour les médias magnétiques.

3.4 Principaux paramètres

3.4.1 Densité d'encodage

Elle se mesure de diverses façons, selon le point de vue où on se place. Pour les disques, on parle souvent en termes de capacité totale, exprimée en Ko ou Mo; en termes de pistes par pouce (TPI); ou en termes de bits par cm. Enfin, les expressions relativement peu précises de «double densité» et «quadruple densité» sont assez fréquentes : leur sens varie selon le type de disque.

Dans l'ensemble, à taille à peu près égale, la capacité des disques rigides est de 30 à 100 fois celle des disquettes souples; celle des disques optiques est de 10 à 50 fois celle des disques rigides.

3.4.2 Vitesse d'accès

C'est le rythme auquel l'unité de disque peut lire ou écrire l'information sur le support. Elle se calcule habituellement en kilobits ou mégabits par seconde, et peut varier considérablement d'un type de stockage à l'autre. Souvent plus significative est la mesure du temps qu'il faut à la tête de lecture pour trouver une information sur le disque, habituellement mesurée en micro-secondes ou milli-secondes; on l'évalue de trois façons : déplacement de piste à piste («track-to-track»), déplacement d'une extrémité du disque à l'autre («worst case»), ou déplacement moyen («average seek time»).

3.4.3 Permanence des données

Comme sur une bande magnétique classique, la qualité de l'enregistrement des données sur un support se détériore avec le temps. On estime que sur une disquette souple ou une bande magnétique, les données demeureront lisibles sans erreur entre un et cinq ans, entre trois et sept ans sur un disque rigide, et dix ans et plus sur un disque optique. Ceci a peu d'importance pour des supports portant des travaux en cours, mais pour des programmes ou des données d'archives, ce peut être un paramètre crucial.

3.4.4 Effacement / réenregistrement

On peut normalement effacer tous les supports magnétiques, et réécrire dessus, à moins que des mesures spéciales aient été prises pour l'empêcher. Pour

d'autres formes de mémoires, la situation est différente : par exemple, les disques compacts sont ineffaçables; les disques optiques de type WORM ne peuvent être gravés qu'une fois; les mémoires mortes de type «PROM» ou «EPROM» ne peuvent être effacées et réécrites que sous certaines conditions (typiquement, à la lumière ultraviolette).

Cette caractéristique a une influence directe sur le genre de rôle qu'on fait jouer à un type de mémoire dans un système d'information : mémoire courante, mémoire-programme, mémoire d'archives...

3.4.5 Interface à l'ordinateur

À mesure que les micro-ordinateurs deviennent plus puissants et les systèmes de stockage plus rapides et plus vastes, le problème de la connexion entre les deux prend de l'importance : d'une part, cette connexion peut devenir un goulot d'étranglement qui ralentit l'ensemble; de l'autre, on cherche à uniformiser l'interface pour que les systèmes de stockage, ou de mémoire de masse, puissent être branchés sur n'importe quel ordinateur. D'où notamment le développement récent de la norme SCSI («Small Computer System Interface») qu'on retrouve aussi bien sur les compatibles IBM que sur les Macintosh d'Apple.

3.4.6 Normes et protocoles

Le même problème se pose quant au format des communications entre ordinateur et mémoire de masse. Ici, deux solutions sont envisagées : dans un cas, on définit une norme «interne» que les fabricants des deux appareils et les créateurs des logiciels qui les utilisent doivent respecter; dans l'autre cas, on équipe le système de stockage de sa propre intelligence, et il traduit dans son langage interne les «messages» de l'ordinateur.

La plupart des équipements de style CD-ROM ou WORM actuellement sur le marché adoptent la première formule; la norme CD-I de Sony-Philips et les périphériques des ordinateurs domestiques de Commodore utilisent la seconde. Quant aux supports magnétiques, ils respectent le plus souvent la norme de facto de l'IBM-PC.

3.5 Principaux formats

3.5.1 Systèmes magnétiques

3.5.1.1 Disquettes à haute densité

C'est la prochaine génération des disquettes à support souple. On en a déjà un exemple sur l'IBM-AT (disquettes de 1,2 Mo); la capacité atteint déjà les 10 Mo sur des produits qui devraient être sur le marché d'ici l'année prochaine. Il est à noter qu'une augmentation de la capacité s'accompagne habituellement d'un raccourcissement du temps d'accès, si bien qu'on y gagne sur les deux tableaux. Quant au format, la micro-disquette de 3,5 pouces (9 cm) gagne clairement du terrain sur le 5,25 pouces (13 cm) classique.

3.5.1.2 Disques rigides

Leur capacité et leur vitesse d'accès s'accroissent aussi, mais de façon moins spectaculaire que pour les disquettes souples, car ils sont déjà plus puissants et plus rapides. Là où ils évoluent, c'est au niveau de la taille, du poids et de la robustesse. Les disques de 20 Mo avec temps d'accès de moins de 50 millisecondes sont actuellement la norme; ils seront sans doute remplacés par des disques de 40 Mo ou plus, deux fois plus rapides, d'ici la fin de 1988.

3.5.1.3 Système Bernoulli

C'est une technologie originale, qui allie les avantages du disque rigide à ceux de la disquette souple. On obtient un support amovible (sous forme de cartouches), fiable, robuste et rapide. Les configurations habituelles sont de 10 ou 20 Mo. Malheureusement, les prix sont encore élevés, et baissent plus lentement que ceux des autres types de stockage.

3.5.2 Systèmes optiques

3.5.2.1 Vidéodisques

Ce sont les grands disques optiques de 12 pouces (30 cm) créés pour contenir une heure d'enregistrement vidéo. Avec une unité de lecture-écriture et une interface appropriées, ils sont utilisés comme support de stockage permanent dans les systèmes informatiques haut de gamme. Leur capacité varie de 1 à 4 giga-octet (ce qui représente une bibliothèque de 1 500 à 6 000 volumes de taille moyenne).

3.5.2.2 CD-ROM et CD-I

Ce sont les disques compacts (4,75 pouces) utilisés pour conserver de façon permanente des données. L'usager ne peut ni les effacer, ni y écrire; en revanche, ils sont très durables et extrêmement économiques. La norme CD-I suppose un lecteur «intelligent» doté de son propre microprocesseur et capable de fonctionner avec n'importe quel micro-ordinateur.

3.5.2.3 WORM

De taille un peu plus grande que les CD-ROM (13 cm), ils peuvent être écrits une fois mais non effacés par l'utilisateur. Il en existe plusieurs versions qui, malheureusement, ne sont pas compatibles entre elles. On leur voit un grand avenir dans les banques de données «différentielles» (auquel on ajoute des éléments sans les modifier) et pour les systèmes de comptabilité.

3.5.2.4 Cartes au laser

Semblables à des cartes de crédit, elles peuvent contenir plus de données qu'une disquette classique (2 Mo environ). On ne peut ni les effacer ni les

réécrire. Envisagées notamment comme média pour la vente et la diffusion du logiciel, elles sont déjà utilisées par des systèmes de santé pour enregistrer le dossier médical d'un patient.

3.5.3 Systèmes hybrides

3.5.3.1 Disques optiques effaçables

Ce sera sans aucun doute la prochaine étape des disques optiques car ils sont déjà réalisés en laboratoire; on ne prévoit toutefois pas les voir sur le marché avant le début de la prochaine décennie. À cause de leurs caractéristiques différentes, ils ne remplaceront pas entièrement les supports magnétiques, mais offriront une solution de rechange fort alléchante. Ils seront probablement très chers au début.

3.5.3.2 Mémoires virtuelles

Il s'agit d'un système réalisé en partie en logiciel, qui permet de faire travailler ensemble un disque optique et un disque rigide magnétique, chacun jouant le rôle qui lui convient le mieux. Le disque optique contient de façon permanente des quantités énormes d'information, le disque magnétique garde temporairement les éléments qui doivent changer, ou auxquels on veut avoir accès très rapidement. Pour l'usager, tout se passe comme s'il n'y avait qu'un seul disque, à la fois très rapide et de très grande capacité.

3.6 Principales applications

3.6.1 Gestion de banques de données

Ce sont des collections d'informations de toutes sortes qui sont de plus en plus nécessaires dans tous les secteurs d'activité : chiffres, textes, images, sons, séquences d'instructions ou d'actions. Certaines ont un caractère permanent : (statistiques, séries historiques, livres comptables, données de recensement), d'autres évoluent sans cesse (cotes de la bourse, annuaires téléphoniques, inventaires).

Le périphérique de stockage contient les informations; l'ordinateur (de plus en plus souvent un micro haut de gamme) permet de les modifier, les compléter, les effacer ou les consulter de diverses manières.

3.6.2 Fichiers vidéo, sono, hybrides

La plupart des bases de données actuelles sont numériques ou textuelles. Les nouveaux supports à forte capacité rendent pratiques le stockage et l'utilisation de nouveaux types d'information qui exigent des quantités considérables de mémoire : banques d'images fixes ou animées, banques de sons et de musique, banques de données hybrides qui contiennent plusieurs types de données interreliées.

3.6.3 Pédagogie interactive

Jusqu'ici, l'ordinateur servant à des fins pédagogiques a plutôt déçu. La possibilité de «banques de connaissances» extensives, plus souples d'emploi, tirant parti des nouvelles techniques de stockage, peut lui donner un second souffle . Plusieurs tentatives en ce sens sont en cours, en particulier pour le recyclage et le perfectionnement de la main-d'oeuvre dans les entreprises, où il semble que ces systèmes seront, au début du moins, le plus rentables.

3.6.4 Diffusion d'information

Actuellement, l'accès aux banques de données même à caractère permanent n'est possible que via un réseau de communication. Les supports optiques permettront une diffusion des contenus sur support physique durable et peu cher. C'est une formule particulièrement avantageuse pour la très large diffusion (annuaire téléphonique), ou lorsque la sécurité ou la confidentialité des données est importante, ou dans des régions du monde où les réseaux électroniques de transmission sont moins développés.

3.6.5 Simulations, modèles complexes

Modélisation et simulation sont parmi les usages les plus intéressants et les plus répandus de l'informatique dans le domaine scientifique et technique. La limitation des mémoires de masse imposait à ces méthodes de recherche et de développement des contraintes que la venue des supports optiques ou hybrides tend à lever.

3.7 Dimension économique

La mesure habituelle du prix des mémoires de masse est le coût par kilo-octet. Il varie évidemment selon les types de supports, mais dans l'ensemble il a baissé d'au moins deux ordres de grandeur depuis moins de dix ans, et l'avènement des disques optiques le fera chuter d'au moins un, peut-être deux autres ordres de grandeur. Au lieu de parler de 10 $ le Ko, on parle maintenant de 0,10 $ le Ko; on parlera bientôt de 0,01 $ ou même de 0,001 $ le Ko.

CHAPITRE IV : TRANSMISSION DE DONNÉES

4.1 Définition du domaine

La possibilité de transmettre presque instantanément des informations sous forme électronique partout à travers le monde est un des principaux attraits des technologies informatiques. Cette transmission peut se faire sur de courtes ou de longues distances, et utiliser une variété de médias : ondes hertziennes, réseau téléphonique, réseau de transmission par paquets, faisceaux d'ondes par satellite, réseaux privés à base de câble coaxial ou de fibre optique.

Son attrait est double. D'abord, c'est une méthode de communications rapide et de plus en plus fiable. Deuxièmement, les données ainsi transmises sont directement lisibles et utilisables par les systèmes informatiques à la réception, et permettent à des ordinateurs de travailler ensemble à distance. C'est ainsi par exemple que l'utilisation des «réseaux locaux» prend une place de plus en plus grande dans l'arsenal des outils actuels de la bureautique.

Cette technologie ne couvre pas seulement les questions de supports et de techniques de transmission physique des données; elle touche au moins autant et peut-être plus encore aux normes et aux protocoles de transmission et de réception, aux divers formats et à l'encodage des informations ainsi transmises. Des standards internationaux apparaissent graduellement, mais énormément de travail reste à faire.

4.2 Bref historique

Les premiers réseaux importants de transmission reliant un ordinateur à des terminaux sont apparus avec les systèmes multi-utilisateurs «à temps partagé» des années 60. Un peu plus tard sont nés les réseaux inter-ordinateurs (gouvernement américain, système bancaire international, Arpanet, etc.)

Ont bientôt suivi les banques de données scientifiques et commerciales (Dialog, Compuserve, Dow Jones), les réseaux publics de transmission par paquets (Transpac, Datapac), les réseaux universitaires ou scientifiques (Plato, EIES, etc.) au cours des années 70. Le vidéotex, né en Europe, aura été la première tentative importante de création de réseaux de transmission électronique à l'intention du grand public.

Les micro-ordinateurs, au départ, fonctionnaient isolément et leurs utilisateurs étaient peu intéressés à communiquer entre eux. Cette tendance a été inversée avec la venue de la bureautique (réseaux locaux), du courrier électronique, des banques de données commerciales ou bénévoles (BBS).

4.3 Technologies impliquées

4.3.1 Modems

Ce sont des circuits qui permettent de transmettre des données numériques sur des lignes téléphoniques normales ou «dédiées». Il en existe de toutes les

tailles et de toutes les vitesses, depuis le télex simple à 75 baud jusqu'aux grands multiplexeurs fonctionnant à 38 Kbaud et plus (environ 10 baud représentent un caractère par seconde).

Il y a quelques années, on ne pouvait transmettre sur le réseau commuté normal qu'à 300 baud. Aujourd'hui, la plupart des terminaux et micros fonctionnent à 1200 baud, et les 2400 baud ne sont pas rares. Il existe maintenant des systèmes très fiables, avec correction d'erreurs, à 9600 baud sur ligne téléphonique non protégée.

4.3.2 Laser et fibre optique

Les systèmes optiques gagnent rapidement du terrain sur les systèmes électriques-électroniques de transmission. La fibre optique qui transporte des rayons de lumière cohérente générée par laser promet d'être plus économique, plus fiable et beaucoup plus performante une fois résolues certaines difficultés actuelles (notamment les questions de raccordement).

Cette technologie intéresse à la fois les réseaux téléphoniques, qui s'en servent déjà pour leurs lignes principales, les câblodiffuseurs (en France, par exemple) et les informaticiens (il existe déjà des réseaux locaux optiques). Il est possible qu'on aboutisse à moyen terme à un réseau unifié capable de transporter toutes les formes d'information et de desservir tous les types d'utilisateurs.

On a aussi déjà commencé à utiliser les rayons laser indépendamment des fibres optiques pour fins de transmission.

4.3.3 Structures de réseaux

Les réseaux traditionnels (téléphone, ordinateurs à temps partagé) étaient «maillés» ou «en étoile». L'essor extraordinaire pris récemment par les réseaux locaux et la grande variété de nouveaux types de communication ont suscité une évolution rapide des connaissances en architecture de réseaux. On a désormais des réseaux «en anneau», en «bus», des réseaux hiérarchiques et hybrides, avec ou sans tête de réseau, avec adressage actif ou passif, avec passage de jetons, etc.

4.3.4 Protocoles et formats

À l'origine, les réseaux reliaient uniquement des appareils de même type, ou provenant du même fabricant. Sur les lignes téléphoniques il n'y avait que des téléphones, sur les réseaux d'ordinateurs, que des terminaux et des périphériques de la même marque. Cette situation a été bouleversée au cours des dernières années : les réseaux hétérogènes reliant des équipements de types différents, fonctionnant à des vitesses différentes et provenant de sources différentes, sont devenus la règle plutôt que l'exception.

Comme cela s'était produit il y a quelques décennies, il en est résulté une crise des normes et des standards nationaux et internationaux qui est en voie de se résoudre. Dans plusieurs cas, il est intéressant de constater que c'est l'Europe

qui a pris la tête du mouvement, sans doute parce que les frontières y sont plus nombreuses, qu'aucun constructeur n'y est assez dominant pour imposer son format de facto, et que presque partout les communications y sont gérées directement par l'État. Le reste du monde, y compris les États-Unis n'a pas tardé à suivre.

4.3.5 Numérisation, codage

Ce problème, qui est lié au précédent et apparenté à celui des techniques de stockage, couvre les méthodes physiques d'encodage, les formats (par exemple la transmission par paquets), la détection et la correction des erreurs, l'encryptage-décryptage et la sécurité des données. Dans le cas des données numériques et du texte, des normes internationales existent qui sont généralement respectées. Pour le son et l'image, beaucoup de travail reste à faire.

4.4 Principaux paramètres

4.4.1 Vitesse de transmission, bande passante

C'est la mesure de la quantité de données que peut transmettre un système ou un réseau. On emploie le premier terme quand on l'envisage par rapport au temps, le second quand on le voit sous l'angle de l'amplitude d'onde et de simultanéité. Avec les données numérisées, les deux deviennent pratiquement équivalents, et on les utilise presque indifféremment. De toute façon, la quantité de données qui peut être transmise est fonction du support physique choisi et de la méthode de transmission.

4.4.2 Portée maximale

C'est la distance que peut parcourir un signal dans un réseau sans avoir à être renforcé ou régénéré. Elle peut varier de quelques mètres (RS-232) à des millions de kilomètres (faisceaux hertziens étroits). C'est un facteur qui joue particulièrement dans les réseaux locaux et les réseaux dédiés sur câble coaxial ou fibre optique, où les portées se mesurent habituellement en centaines de mètres ou kilomètres.

4.4.3 Sécurité, encryption

C'est la protection contre l'écoute et le détournement par une tierce personne des informations transmises sur un réseau. Elle dépend à la fois du support physique (fibre optique et câble coaxial sont plus «sûrs» et discrets que les faisceaux hertziens ou les paires de fils torsadés) et du mode de codage (algorithmes d'encryption, brouillages).

4.4.4 Fiabilité-correction d'erreurs

Le «bruit» causé par les imperfections du support ou par des phénomènes externes (interférence) peut causer des erreurs dans les données transmises. Un paramètre important d'un réseau de communication est donc d'une part le

taux moyen d'erreurs, et d'autre part la capacité du système de détecter et de corriger automatiquement ces erreurs. Dans le premier cas, il s'agit d'une caractéristique physique du système; dans le second, de solutions logicielles.

4.4.5 Normes et protocoles

Le nombre et la variété des protocoles de communication sont énormes, et jouent à plusieurs niveaux ou «couches» (l'ISO - organisation internationale de normalisation - en identifie sept). Avant de se brancher sur un réseau, il faut savoir à quel point celui-ci est compatible avec l'équipement et le logiciel qu'on compte utiliser, et avec l'usage qu'on a l'intention d'en faire.

4.5 Principaux formats

4.5.1 Réseaux locaux

Ce sont des systèmes dont la complexité, la capacité et la structure peuvent varier considérablement, mais qui ont en commun le fait qu'ils ne s'étendent que sur de courtes distances (le plus souvent à l'intérieur d'un même immeuble), et qu'ils ne servent qu'à une seule organisation, parfois un seul service. Ils relient entre eux des ordinateurs, des terminaux et des périphériques qui peuvent échanger des informations, partager des ressources et parfois travailler ensemble. Ils utilisent différentes technologies (paires de fils, câble coaxial, fibre optique) et différentes architectures.

4.5.2 Transmission par paquets

C'est la méthode de plus en plus employée pour la transmission de données numérisées sur moyennes et longues distances. Au lieu d'être envoyées en continu, les données sont découpées en «tranches» ou paquets, et accompagnées de codes permettant l'acheminement à un destinataire spécifique et la détection-correction des erreurs. Il existe de nombreux réseaux commerciaux privés ou nationaux publics, souvent reliés entre eux à l'échelle internationale.

4.5.3 Vidéotex et télétexte

Utilisant soit le réseau téléphonique, soit le câble, soit les ondes hertziennes, ce sont des systèmes d'accès à l'information électronique qui sont ouverts au grand public, et habituellement basés sur une norme nationale (Télétel/CEPT-2 en France, Prestel en Grande-Bretagne et NAPLPS au Canada, aux États-Unis et au Japon). Jusqu'ici, seul le système français Télétel a connu un succès commercial véritable; il compte plus de deux millions de terminaux, quatre millions d'usagers et plusieurs milliers de «fournisseurs d'information», soit beaucoup plus que l'ensemble du reste du monde.

4.5.4 Réseau commuté

C'est le réseau téléphonique ordinaire, utilisé pour la transmission de données électroniques, le plus souvent par l'intermédiaire de modems. Il est d'ailleurs en train de se transformer; dans plusieurs pays, toutes les nouvelles lignes

installées sont numériques plutôt qu'analogiques, et on se dirige vers un «réseau intégré de services» aux fonctions multiples.

4.5.5 Passerelles, interconnexions

Jusqu'à récemment, la plupart des réseaux existants étaient, volontairement ou par accident, incompatibles entre eux : impossible de les connecter et de transférer des données de l'un à l'autre. En attendant que l'adoption de nouvelles normes ne permette de résoudre ce problème à la source, il a fallu créer des circuits et des protocoles spéciaux pour rendre possibles ces interconnexions, ce à quoi on a donné le nom générique de «passerelles» («gateways» en anglais).

4.6 Principales applications

4.6.1 Télétraitement

C'est le traitement à distance des données par un ordinateur relié à un réseau, les instructions et parfois les données provenant d'un terminal, d'un poste de travail intelligent ou, de plus en plus, d'un autre ordinateur. Diverses formes de télétraitement existent, depuis les jeux interactifs sur les réseaux de vidéotex jusqu'au traitement hiérarchisé, proche parent de l'intelligence artificielle, sur le système japonais des «ordinateurs de cinquième génération».

Dans le cas du «téléchargement», le phénomème est différent : au lieu que le traitement soit effectué par le système central, celui-ci «décharge» sur le poste local le programme requis, qui sera utilisé immédiatement ou plus tard en mode local. Cette technique peut être employée pour l'exécution de travaux spécialisés, et comme méthode de diffusion de logiciel.

4.6.2 Courrier électronique

Appelé aussi «messagerie électronique», il offre un service de transmission de messages écrits (parfois graphiques) comparable à celui de la poste traditionnelle, avec l'avantage d'une grande rapidité et celui de pouvoir adresser simultanément le même contenu à plusieurs destinataires de façon automatique (on parle de «mailing» électronique). Il est de plus en plus populaire, et représente plus de la moitié de l'utilisation totale du vidéotex français Télétel.

4.6.3 Télémétrage

C'est la saisie automatique d'informations ou de mesures prises à distance, en vue de leur traitement informatisé. Cela comprend par exemple la lecture à distance des compteurs de gaz, d'eau, d'électricité, la télésurveillance des locaux, les systèmes d'alarme feu et vol, les systèmes d'alerte pour les grands malades ou les personnes âgées.

4.6.4 Banques de données publiques

Des entreprises commerciales de plus en plus nombreuses utilisent les réseaux publics de transmission de données pour la vente d'information au public. Au départ ces banques, qui fonctionnent la plupart du temps par abonnement, étaient très chères et très spécialisées, et consultées surtout par les scientifiques et les industriels.

Aujourd'hui, elles se sont multipliées, ont fortement élargi l'éventail de leurs contenus, et sont souvent accessibles au simple citoyen équipé d'un terminal ou d'un micro-ordinateur et d'un modem. Plusieurs ont cependant conservé leur vocation spécialisée : scientifique, technologique, financière.

Parfois la formule a un caractère hautement interactif qui la situe entre le courrier électronique et la consultation de données; on lui donne alors le nom de «conférence informatique».

4.6.5 Espaces de travail communs

Ils offrent la possibilité à plusieurs personnes équipées de terminaux ou d'ordinateurs reliés en réseau de travailler à distance sur un même projet (texte, plan, graphique) comme si elles étaient réunies autour d'une même table. Le processus est entièrement interactif, et les ajouts ou les changements effectués par un des membres du groupe sont immédiatement reproduits sur les écrans de tous les autres.

4.7 Dimension économique

La mesure la plus fréquente de l'effet économique des technologies de transmission est, comme pour les méthodes de stockage, le rapport coût/quantité d'information. La baisse des prix ici a été moins spectaculaire, mais la croissance du secteur est extrêmement rapide, et ne semble montrer aucun signe d'essoufflement.

CHAPITRE V : LOGICIEL

5.1 Définition du domaine

Le logiciel comprend tous les programmes qui permettent l'utilisation des ordinateurs ou des appareils «intelligents» contenant des microprocesseurs. C'est-à-dire à la fois les «programmes d'application» qui dictent aux machines les tâches pratiques à réaliser, et les «logiciels de système» qui gèrent les fonctions de base (gestion de la mémoire, communication avec l'extérieur) et qui permettent la conception, la réalisation et l'emploi des programmes d'application.

Physiquement, le logiciel prend surtout deux formes : enregistrement magnétique, sur disque, disquette ou bande magnétique, qui doit être chargé dans la mémoire vive de l'ordinateur chaque fois qu'on veut s'en servir; et «mémoire morte», où le code est inscrit sur une puce soit toujours présente dans l'ordinateur (logiciel de système), soit insérée dans une «cartouche» que l'on enfiche dans l'ordinateur au besoin (jeux vidéo, etc.).

5.2 Bref historique

La notion de logiciel est née de l'idée de John Van Neumann, en 1946, selon laquelle on pouvait stocker dans la mémoire d'un ordinateur aussi bien les séquences d'instructions à effectuer que les données à traiter. Au début, les programmes étaient conçus et codés directement en code binaire. Au début des années 50 est apparu un premier niveau de traduction avec le langage assembleur; vers la fin de la même décennie apparaissait le premier langage «évolué», Fortran, qui devait être suivi de centaines d'autres dont certains sont d'usage général, certains extrêmement spécialisés.

La firme IBM a été la première à exploiter l'idée de logiciels de système qui fonctionneraient sur de larges «familles» d'ordinateurs. Jusque là, les programmes étaient spécifiques à chaque modèle, parfois à chaque configuration particulière. Aujourd'hui, certains systèmes comme Unix existent sur des centaines, sinon des milliers, d'ordinateurs différents.

Jusqu'à la multiplication des mini-ordinateurs au milieu des années 60, le logiciel d'application était fait «sur mesure» à l'intention d'un client et d'un ordinateur bien définis. C'est alors que sont apparus les «progiciels», des ensembles de programmes capables d'accomplir certaines fonctions et réalisés en multiples exemplaires. Avec la venue des micro-ordinateurs à la fin des années 70, ces progiciels se sont multipliés en nombre et en variété au point qu'on les trouve aujourd'hui dans des milliers de boutiques. Ils ont aussi adopté un style beaucoup plus «convivial», moins technique et plus interactif, à l'intention d'une clientèle de non-informaticiens.

Dans le domaine des télécommunications, jusqu'à il y a une douzaine d'années, presque tout se faisait au niveau du matériel. Aujourd'hui, la tendance est inversée, et les phénomènes de l'informatique et des

télécommunications sont tellement interreliés qu'il est souvent difficile de dire où l'une finit et où l'autre commence.

5.3 Technologies impliquées

5.3.1 Techniques de conception

Jusqu'à tout récemment, la conception des systèmes logiciels avait encore un caractère artisanal poussé. Ce n'est qu'au cours des deux ou trois dernières années que les analystes ont commencé à utiliser la puissance de l'ordinateur pour se faciliter le travail, avec des outils comme «Asyst» (de la maison montréalaise Atkinson-Tremblay) et CONSOI pour l'aide à la conception de système (logiciel fabriqué par la firme Systemoid, devenue en janvier 1987 une filiale de Price Waterhouse). Il est de plus en plus courant de se servir de ces instruments, souvent à interface graphique et implantés sur micro-ordinateur, pour concevoir et modifier la structure des programmes, et pour générer les spécifications et les dictionnaires de données à l'intention des équipes de programmeurs.

5.3.2 Méthodes de production et validation

La production de code s'est aussi fortement automatisée et industrialisée. Les programmeurs disposent aujourd'hui d'outils logiciels qui permettent la génération automatique d'écrans, la définition de fichiers, l'établissement de procédures standard, l'utilisation des fonctions internes des systèmes d'exploitation.

On a également mis au point des systèmes capables de vérifier et de valider le fonctionnement d'un programme en cours de création, de signaler les erreurs et même dans certains cas de suggérer des correctifs. Les premiers de ces systèmes sont algorithmiques, mais on voit de plus en plus les techniques de l'intelligence artificielle et des systèmes experts employées à cette fin.

5.3.3 Langages, générateurs de programmes

L'évolution des langages de programmation est loin d'être terminée. Par exemple, deux nouveaux venus (tous deux nés au milieu des années 70) occupent une place de plus en plus importante en programmation de systèmes et en intelligence artificielle : C et Prolog. Et deux langages structurés récents, Ada et Modula-2, semblent devoir s'installer solidement dans le domaine des applications, l'un pour les grands systèmes, l'autre pour la micro-informatique.

À côté des langages classiques on trouve divers systèmes de «programmation automatique» qui génèrent des programmes soit à partir de l'interprétation d'organigrammes et de représentations graphiques, soit des informations obtenues au cours de sessions interactives avec le programmeur ou l'usager.

5.3.4 Méthodes de diffusion

Les programmes pour minis et micro-ordinateurs sont habituellement diffusés sous forme de disquettes souples ou semi-rigides, accompagnées d'une

documentation imprimée. Souvent les jeux vidéo et autres logiciels pour ordinateurs domestiques se présentent comme des «cartouches» contenant des puces de mémoire morte, qu'on enfiche dans l'unité centrale.

De plus en plus cependant, on étudie de nouvelles formules qui simplifieraient la diffusion et en réduiraient le coût. Il y a entre autres le téléchargement, qui permet le transfert de logiciel d'un ordinateur à un autre par ligne téléphonique, les cartes au laser, fiables, permanentes et pratiquement impossibles à reproduire sans équipement industriel, les cartouches reprogrammables, etc.

5.4 Principaux paramètres

5.4.1 Fiabilité, absence d'erreurs

La première qualité d'un logiciel, c'est qu'il fonctionne. Dans un programme complexe, une certaine proportion d'erreurs est presque inévitable, mais elle ne doit pas atteindre un niveau tel qu'elle rend le produit inutilisable ou induit l'usager en erreur. A mesure qu'un logiciel «vieillit», les erreurs (ou «bogues») sont détectées et corrigées, jusqu'au moment où un haut niveau de fiabilité est atteint... à la condition que l'auteur ou les auteurs continuent à soutenir et à améliorer leur produit.

5.4.2 Compatibilité avec le matériel

Tout logiciel est conçu au départ pour un ordinateur ou un système d'exploitation particulier. Il ne fonctionnera pas dans un autre environnement à moins d'y avoir été spécifiquement adapté. Jadis, avec la multiplicité des types d'ordinateurs disponibles, cela posait des problèmes considérables. Aujourd'hui, les «familles» de micros et de minis se sont fortement standardisées, et les progiciels disponibles tournent habituellement sur un large éventail de systèmes. Il est cependant toujours prudent de vérifier la compatibilité d'un programme avec l'environnement physique et logique dans lequel on veut s'en servir.

5.4.3 Portabilité

Un terme de plus en plus à la mode, qui désigne la possibilité de transférer facilement un logiciel d'un type de machine ou de système à un autre. La portabilité est fonction de l'universalité du langage dans lequel le programme est écrit, et de l'indépendance de celui-ci des ressources spécifiques d'une machine et d'un système d'exploitation.

Il existe aussi un autre type de portabilité auquel on commence à s'intéresser. C'est la possibilité d'adapter facilement un logiciel d'une langue, d'une culture, d'un pays ou d'un continent à un autre. Elle est fonction à la fois du type de logiciel (selon qu'il est plus technique ou plus «culturel»), des différences entre l'environnement d'origine et celui de destination, et de la façon dont le logiciel est conçu : moins les éléments textuels et les fonctions de communication entre l'utilisateur et le programme sont imbriqués dans le code, plus ils sont faciles à isoler et à modifier, plus un programme est «adaptable».

5.4.4 Facilité d'apprentissage et d'utilisation

Devenue aussi importante que la fiabilité et la compatibilité, la «convivialité» d'un logiciel est aujourd'hui un critère majeur de choix. On constate en effet que le temps de formation des usagers est un coût caché extrêmement important, et qu'il peut être considérablement réduit par une «interface utilisateur» appropriée. Certains logiciels évoluent même avec l'expérience de leurs usagers : offrant au départ des explications détaillées de chaque opération, ils deviennent de plus en plus «discrets» mais de plus en plus rapides d'exécution à mesure que ceux qui s'en servent deviennent plus experts.

5.4.5 Aspect linguistique-culturel

Chaque pays, chaque culture a sa manière de faire les choses, sa mentalité propre face à diverses tâches; qu'on le veuille ou non, cette mentalité se reflète dans la façon dont un programme est conçu et présenté, et une bonne adaptation doit dépasser le niveau purement linguistique et se préoccuper du changement de contexte social et culturel. Ceci est particulièrement vrai lorsqu'on sort du domaine scientifique et technique et qu'on pénètre dans le bureau, la maison, l'école.

5.5 Les grandes familles

5.5.1 Logiciel de système

5.5.1.1 Systèmes d'exploitation

C'est l'ensemble des fonctions qui permettent à un ordinateur de gérer ses diverses composantes et de communiquer avec l'extérieur (disque, imprimante, écran...). Les systèmes d'exploitation (SED en abrégé, DOS en anglais) les plus répandus sont MS-DOS sur les micro-ordinateurs compatibles-IBM, et Unix qu'on retrouve partout, des grands systèmes aux micros haut de gamme.

5.5.1.2 Interface utilisateur

Généralement considérée comme faisant partie du système d'exploitation, elle est dans les faits de plus en plus distincte de celui-ci (Finder du Macintosh d'Apple, Shell d'Unix). Son rôle est de faciliter le dialogue entre l'ordinateur et son usager humain, habituellement via l'écran et le clavier (de plus en plus souvent la «souris»).

5.5.1.3 Systèmes de programmation

C'est la panoplie des outils qui permettent ou facilitent la création des programmes d'application. En informatique «classique», on la rangeait dans le logiciel d'application, mais surtout en micro-informatique, on tend de plus en plus à la classer dans le logiciel de système. Dans les ordinateurs domestiques, et dans une partie des ordinateurs de bureau (IBM), le tout ou une partie d'un langage de programmation est en mémoire morte, et directement accessible dès qu'on met la machine en marche.

Dans les systèmes plus élaborés (Macintosh, Windows, Gem), de nombreuses fonctions utiles et même nécessaires à la programmation sont incluses dans le système d'exploitation. Dans les systèmes plus primitifs, il existe de nombreux outils qui facilitent la tâche, et qui s'ajoutent aux langages de programmation eux-mêmes.

5.5.1.4 Programmes de communications

De plus en plus, au lieu de constituer des applications distinctes, ils constituent des ressources du système, qui coexistent avec les applications et sont toujours disponibles, soit pour assurer la liaison avec un réseau local, soit pour travailler à distance avec un autre ordinateur.

5.5.2 Logiciel d'application

5.5.2.1 Progiciels-outils ou «logiciels horizontaux»

Ils sont disponibles commercialement et répondent à des besoins communs à une large proportion des utilisateurs. Ils comprennent le traitement de texte, les chiffriers électroniques, les systèmes de comptabilité, les gestionnaires de données, les gestionnaires de projets, les utilitaires graphiques, etc. Il faut y ajouter les «logiciels intégrés» qui offrent simultanément plusieurs de ces fonctions, avec la possibilité de transférer des données de l'une à l'autre.

5.5.2.2 Logiciels verticaux

Au lieu de répondre à un besoin spécifique d'une large masse d'usagers, ils s'efforcent de satisfaire l'ensemble des besoins d'une clientèle plus spécialisée : cliniques médicales, études légales, entrepreneurs en construction, établissements d'enseignement, etc. Traditionnellement c'était un marché desservi par des sociétés de service qui créaient du logiciel «sur mesure». De plus en plus, ce type de logiciel est offert commercialement sous forme de progiciel, avec un certain degré d'adaptabilité aux conditions particulières de chaque client.

5.5.2.3 Interrogation de données

Ce sont des systèmes élaborés de gestion et d'utilisation de bases de données, configurés pour répondre aux besoins spécifiques d'une classe d'utilisateurs. L'accent est mis sur la capacité d'interroger une base de données sous une forme voisine du langage naturel, et souvent de générer automatiquement des documents ou rapports plus ou moins détaillés, parfois illustrés de graphiques.

5.5.2.4 Courrier-conférences informatiques

Des systèmes plus ou moins complexes d'échange d'information textuelle ou graphique entre plusieurs utilisateurs à distance. On parle de courrier ou messagerie lorsqu'il n'y a pas de restriction au contenu des messages, et pas d'interaction directe entre les participants. Le terme conférence informatique sert à désigner un système de communication où plusieurs interlocuteurs

discutent plus ou moins simultanément, par ordinateur interposé, sur un thème défini. Certaines de ces conférences s'étalent sur des mois et même des années.

5.5.2.5 Intelligence artificielle

C'est le thème à la mode depuis trois ou quatre ans dans tout le domaine de l'information électronique, surtout avec l'apparition des «système experts». Il recouvre les efforts effectués dans diverses directions pour donner aux ordinateurs des réactions simili-humaines, donc «intelligentes», face à diverses situations. Deux secteurs des travaux en intelligence artificielle touchent directement le domaine de l'information électronique : la reconnaissance des formes et de la voix, et le traitement du langage naturel.

5.6 Dimension économique

De façon générale, le logiciel est le seul segment du domaine de l'information électronique où on n'a pas constaté de baisse considérable de coûts, au contraire. Evidemment, le logiciel de grand système est plus cher que le logiciel pour minis, et celui-ci plus cher que celui pour micros. Mais à l'intérieur de chacune de ces strates, les prix sont restés stables ou ont même grimpé au cours des dernières années. Il y a à cela plusieurs raisons, dont la principale est probablement que la création de logiciel demeure une activité difficile à automatiser et même à industrialiser, toujours très dépendante de l'intervention humaine.

CHAPITRE VI : LES INTERACTIONS

6.1 Super-bases de données

Un premier cas d'interaction importante entre les quatre technologies de base est celui des bases de données à très grande capacité qui commencent à apparaître et qui vont sans doute se généraliser dans un avenir très prochain. Des micro-ordinateurs de plus en plus puissants peuvent s'adjoindre des périphériques de mémoire de masse peu coûteux et capables d'emmagasiner des quantités énormes d'information.

Cette information peut être transmise électroniquement sur des réseaux fiables et économiques, et peut être traitée par des logiciels de plus en plus performants et de plus en plus faciles à utiliser. Le résultat est que là où on conservait jadis quelques chiffres d'entreprise, on stocke et utilise aujourd'hui des séries statistiques importantes, à l'échelle d'une industrie, d'une région, d'un pays. Les bibliothèques électroniques remplacent les simples bases de références bibliographiques; des banques d'images et de sons numérisées se prêtent à des applications nouvelles.

6.2 Réseaux hiérarchisés et «*workstations*»

Il y a quelques années, on avait le choix entre un micro-ordinateur fonctionnant seul, ou un terminal «idiot» branché sur un ordinateur central. Les réseaux actuels offrent une multitude de solutions intermédiaires entre ces deux extrêmes. En particulier, on s'oriente de plus en plus vers des «*workstations*», des postes de travail intelligents, puissants mais incomplets, qui sont conçus spécifiquement pour travailler ensemble et avec d'autres types d'appareils reliés en réseau.

À la limite de cette tendance se trouve le projet japonais des «Ordinateurs de 5e génération», où chaque poste intelligent recevra les questions de son usager et tentera d'y répondre. S'il n'y arrive pas, il ira chercher automatiquement dans le réseau hiérarchisé auquel il est rattaché les ressources nécessaires pour arriver à une solution. Ici encore, il y a un effet important de synergie entre la micro-informatique, les techniques de transmission, le logiciel (qui donne son «intelligence» à l'ensemble) et les méthodes de stockage des informations nécessaires.

6.3 Vidéotex et courrier électronique

C'est, selon l'expression célèbre de Nora-Minc, «le mariage de l'ordinateur, de la télévision et du téléphone» : un système de communication électronique avancé mais peu coûteux, mis à la disposition du grand public. Les technologies sont au point dans plusieurs pays du monde. Le succès exceptionnel et unique de l'expérience française semble montrer que le problème n'est plus d'ordre technique, mais consiste plutôt à briser le cercle vicieux de la masse critique du contenu et de la masse critique des usagers. Tant qu'il y a peu de contenu disponible, peu de gens sont tentés de s'abonner.

Tant qu'il y a peu d'abonnés, les fournisseurs d'information sont peu disposés à investir des ressources considérables dans la création de contenu.

En France, on a résolu la difficulté par un artifice : on a distribué des terminaux sous le prétexte de l'«annuaire électronique», pour atteindre une masse critique d'usagers. Il n'est pas dit que cette solution, qui répondait à un besoin bien particulier, fonctionnerait ailleurs. Mais il est probable, au vu de l'échec des tentatives commerciales anglaises et américaines, qu'une réponse de ce type doit être fournie, vraisemblablement par l'État ou par un géant du domaine des communications, pour que le vidéotex prenne son envol et devienne autosuffisant.

6.4 Espace télématique commun

C'est la possibilité pour plusieurs personnes de fonctionner à distance comme si elles étaient autour d'une même table de travail. Une telle formule, qui a été expérimentée à plusieurs endroits et notamment à l'I.N.R.S.-Communications à l'Île des Soeurs près de Montréal, fait appel à la fois à la micro-informatique, aux techniques de transmission et tout particulièrement au logiciel.

Si elle se répand, elle pourra mener à une décentralisation importante des lieux de travail... mais ici comme pour le vidéotex, les problèmes qui se poseront seront de type socio-culturel et financier plutôt que technique : un tel changement dans les habitudes de vie et de travail est-il souhaitable? Si oui, à quelles conditions?

CHAPITRE VII : TROIS TENDANCES D'AVENIR

7.1 Fusion des technologies

La section précédente laisse voir clairement une des directions principales que prend l'évolution des technologies d'information électronique. Celles-ci sont de moins en moins indépendantes les unes des autres, et tendent même à se rejoindre et à fusionner de plus en plus intimement, si bien qu'il devient impossible d'en étudier une sans devoir tenir compte des autres, et que les problèmes et les solutions de l'une se retrouvent fréquemment dans l'autre.

C'est ainsi que méthodes de stockage et techniques de transmission ont de plus en plus d'éléments en commun, que les questions de télécommunications deviennent de plus en plus des problèmes de logiciel, que les micro-ordinateurs se transforment en «*workstations*» qui ne peuvent fonctionner efficacement que dans le giron d'un réseau de communications.

7.2 Adaptabilité / programmabilité

Les dernières années ont été placées sous le signe de la «convivialité», de la facilité d'utilisation des systèmes d'information électronique. Pour la micro-informatique et son logiciel, cet objectif est en partie réalisé. Pour les réseaux de communication et les banques de données, il reste encore du travail à faire.

Mais déjà les chercheurs de pointe, les entreprises les plus dynamiques envisagent une prochaine étape de la «convivialité» : des systèmes qui seront non plus seulement faciles à utiliser, mais faciles à modifier, à configurer et à programmer. Chaque utilisateur a des besoins propres; or, actuellement, il doit entrer jusqu'à un certain point dans le lit de Procuste des systèmes tout faits. On peut prévoir qu'aussi bien au niveau du matériel que du logiciel, la prochaine décennie verra apparaître des systèmes qui se prêteront de plus en plus aisément à une adaptation aux besoins spécifiques et changeants de leurs utilisateurs, sans avoir à faire appel à des informaticiens ou à des techniciens professionnels.

7.3 Traitement parallèle

On exige de plus en plus du micro-ordinateur qu'il effectue non pas une, mais plusieurs tâches en même temps : gestion des périphériques, participation à un réseau, communication avec l'usager, exécution d'un ou plusieurs programmes d'application. Jusqu'ici, la solution à ce problème a été apportée par le logiciel de système, sous forme de systèmes d'exploitation multi-tâches tournant sur des processeurs plus puissants.

De plus en plus, cependant on se tourne vers des formules matérielles, notamment vers des architectures parallèles, qui visent à faire travailler ensemble plusieurs processeurs qui se partagent les diverses tâches et communiquent entre eux de façon transparente pour l'utilisateur. Des ordinateurs de ce type, formés de centaines et même de milliers de

microprocesseurs, existent déjà et offrent une puissance comparable à celles de super-ordinateurs conventionnels, à une fraction de leur prix.

Il reste cependant à trouver des méthodes efficaces pour programmer ces nouveaux systèmes aux capacités énormes mais encore mal harnachées. Même en tenant compte de ce problème, il est clair que de telles machines à architecture parallèle, alliées à des mémoires de masse optiques ou hybrides, et branchées sur des réseaux performants, sont une des voies les plus intéressantes du développement de l'information électronique dans la prochaine décennie.

BIBLIOGRAPHIE

ALLAN, Roger. «Local Networks : Fiber Optics Gains Momentum» *Electronic Design*, 23 juin 1983, p.97.

BRADY, M. et al. *Robotics and Artificial Intelligence*, Berlin, Springer-Verlag, 1984.

BROONER, E.G. *Microcomputer Data-Base Management,* Indianapolis, Howard W. Sams, 1982.

CAMPBELL, Susan. *Software Design,* New Jersey, Prentice-Hall, 1984.

CHERIN, Allen. *An Introduction to Optical Fibers*, New York, McGraw-Hill, 1983.

CLUB DE ROME. *Microelectronics and Society*, New York, Pergamon Press, 1982.

COOMBS, M.J. *Developments in Expert Systems*, Londres, Academic Press, 1984.

DAHMKE, Mark. *Les Systèmes d'exploitation des micro-ordinateurs*, Paris, McGraw-Hill, 1984.

DE LUCA, Johanne. *Dictionnaire de la micro-informatique*, Montréal, Modulo, 1984.

DIDSBURY, Howard. *Communications and the Future*, Bethesda, WFS, 1982.

FEIGENBAUM, E. et McCORDUCK, P. *La Cinquième génération*, Paris, InterEditions, 1984.

FORESTER, Tom. *The Microelectronics Revolution*, Cambridge, MIT Press, 1980.

GLOWINSKI, Albert. *Télécommunications objectif 2000*, Paris, Dunod, 1980.

HARTSON, H.R. *Advances in Human-Computer Interaction*, Norwood, Ablex, 1984.

HAUGDAHL, J.S. «Local-area Networks for the IBM-PC», *Byte*, décembre 1984, p. 147-174.

LAMBERT, S. et ROPIEQUET, S. *The New Papyrus: CD ROM*, Redmond, Microsoft Press, 1986.

LAUB, Leonard. «The Evolution of Mass Storage», *Byte*, mai 1986, p.161-172.

LECLERC, Yves. *L'Homme informatisé*, Montréal, La Presse, 1983.

LECLERC, Yves. *Le Vidéotex*, Montréal, Guérin, 1986.

LEMOINE, Philippe. *Les technologies d'information*, Paris, Documentation française, 1982.

LUSSATO, Bruno. *Le Défi informatique*, Paris, Fayard, 1981.

MIAUX, M. et VILLARD, A. *Systèmes à microprocesseurs*, Paris, ETSF, 1983.

MINISTÈRE DES COMMUNICATIONS. *Le Virage technologique*, Québec, EOQ, 1982.

NEEDLE, David. «Telecommuting : Off to a Slow Start», *Infoworld*, 19 mai 1986, p. 43-46.

PALME, Jacob. *Survey of Computer-based Message Systems*, Amsterdam, North-Holland, 1984.

PETROSKY, M. et CRABB, D. «Linking Up the Office», *Infoworld*, 24 mars 1986, p. 25-28.

ROADS, C. et STRAWN, J. *Foundations of Computer Music*, Cambridge, MIT Press, 1985.

ROBINSON, Philip. «Overview of Programmable Hardware», *Byte*, janvier 1987, p. 197-203.

ROSENFELD, A. et KAK, A.C. *Digital Picture Processing*, Orlando, Academic Press, 1982.

SWAINE, M. et FREIBERGER, P. *Fire in the Valley*, Berkeley, Osborne/McGraw-Hill, 1984.

TAYLOR, Charles. *High-Level Microcomputer Languages*, Blue Ridge PA, Tab Books, 1984.

VANDEGINSTE, P. *La Recherche en intelligence artificielle*, Paris, Seuil, 1987.

WEISS, Jiri. «Technical Workstations», *Infoworld*, 22 décembre 1986, p. 31-37.